

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
“Київський політехнічний інститут”

**ПАЯННЯ**

**Методичні вказівки**

до виконання лабораторних робіт  
для студентів спеціальності 7.05050403 «Відновлення та підвищення  
зносостійкості деталей і конструкцій»

*Затверджено методичною радою ЗФ НТУУ «КПІ»*

Київ

2015

Паяння. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальності 7.05050403 «Відновлення та підвищення зносостійкості деталей і конструкцій» / Уклад.: В.В. Квасницький, Д.В. Степанов, І.Л. Левченко – К: 2015. – 57 с.

*Гриф надано Методичною радою ЗФ НТУУ «КПІ»  
(Протокол №11 від 24.06.2015)*

Навчальне видання

## **ПАЯННЯ**

Методичні вказівки  
до виконання лабораторних робіт  
для студентів спеціальності 7.05050403 «Відновлення та підвищення  
зносостійкості деталей і конструкцій»

Укладачі: *Квасницький Віктор В'ячеславович, д-р техн..наук, проф..  
Денис Володимирович Степанов, асистент  
Інна Леонідівна Левченко, аспірант*

Відповідальний

редактор

Рецензент

*В.Д. Кузнецов, д-р техн..наук, проф..*

*Р.М. Рижов д-р, техн..наук, проф..*

## ЗМІСТ

<b>Вступ.....</b>	<b>4</b>
<b>Лабораторна робота №1</b>	
Дослідження впливу стану підготовки поверхонь на розтікання припою по поверхні твердого тіла .....	5
<b>Лабораторна робота №2</b>	
Дослідження впливу хімічної активації поверхні основного матеріалу на крайовий кут змочування припоєм по поверхні твердого тіла .....	16
<b>Лабораторна робота №3</b>	
Дослідження впливу температури паяння на технологічні властивості припоїв .....	26
<b>Лабораторна робота №4</b>	
Дослідження впливу величини зазору при паянні на висоту підняття і затікання припою в зазор .....	36
<b>Лабораторна робота №5</b>	
Обладнання для паяння в вакуумі.....	44
Список літератури.....	57

## ВСТУП

Дисципліна „Паяння” належить до циклу професійно-орієнтованих варіативних дисциплін вибору навчального закладу підготовки спеціалістів з напрямку 6.050504 „Зварювання”.

В даному посібнику представлено п'ять лабораторних роботи, які присвячені тематиці курсу.

В лабораторній роботі №1, досліджується вплив стану підготовки поверхонь на розтікання припою по поверхні твердого тіла. У роботі №2 проводиться дослідження впливу хімічної активації поверхні основного матеріалу на крайовий кут змочування припоєм по поверхні твердого тіла. Робота №3 присвячена дослідженню впливу температури паяння на технологічні властивості припоїв. У лабораторній роботі №4 буде здійснено дослідження впливу величини зазору при паянні на висоту підняття і затікання припою в зазор. Лабораторна робота №5 присвячена вивченню обладнання для паяння в вакуумі.

Лабораторні роботи носять дослідницький характер, в кожній з них стисло викладені основні теоретичні положення, методика виконання робіт і завдання для самостійного виконання роботи.

Лабораторні роботи покликані доповнити теоретичний лекційний курс практичними знаннями та навиками, які допоможуть краще програму предмету.

## Лабораторна робота №1

### Дослідження впливу стану підготовки поверхонь на розтікання припою по поверхні твердого тіла

**Мета роботи:** вивчити вплив способу підготовки поверхні на питому площу розтікання та крайовий кут змочування припоїв однією з систем: олово-свинець, мідь-свинець, мідь-алюміній, титан-алюміній, мідь-олово, нікель-кремній або інші - за вибором викладача.

#### 1.1 Короткі теоретичні відомості

Для успішного виконання процесу паяння припої повинні змочувати основний метал, розтікатися по його поверхні та заповнювати зазори (щілини). Ці процеси можуть супроводжуватися суттєвим розчиненням основного металу у припої і взаємною дифузією.

**Змочування** - перша стадія фізико-хімічної взаємодії припою з основним металом, результатом якої є встановлення між ними міжатомних зв'язків і розтікання припою по поверхні металу з кінцевим крайовим кутом змочування. Для змочування необхідне встановлення зв'язків поверхневих атомів основного металу з атомами припою.

**Розтікання** припою може мати декілька механізмів: поверхневу дифузію атомів припою, випаровування з наступною конденсацією атомів або часток припою, рух порівняно товстих шарів (фазове розтікання), розчинення, об'ємну дифузію. Механізми та результати взаємодії між основним металом і припоєм визначаються електронними конфігураціями їх атомів. У процесі змочування основного металу і розтікання припою дві вільні поверхні замінюються однією міжфазною поверхнею з більш низькою вільною енергією системи.

Умови рівноваги краплі рідини при її розтіканні (рис. 1.1) визначаються рівнянням **Юнга**<sup>1</sup>, яке відображає рівновагу векторів сил

---

<sup>1</sup>Встановлене в 1805р. Юнгом рівняння було записано у вигляді (1.1a)

поверхневого натягу в точці перетину трьох поверхонь розділу фаз: **тверде тіло-газ, тверде тіло-рідина, рідина-газ:**

$$\sigma_{т.г.} = \sigma_{т.р.} + \sigma_{р.г.} \cos \theta \quad (1.1)$$

де  $\sigma_{т.г.}$  – коефіцієнт поверхневого натягу твердого тіла (т) при контакті з фазою (г);  $\sigma_{т.р.}$  – коефіцієнт поверхневого натягу твердого тіла (т) при контакті з рідиною (р);  $\sigma_{р.г.}$  – коефіцієнт поверхневого натягу рідини (р) при контакті з газовою фазою (г).

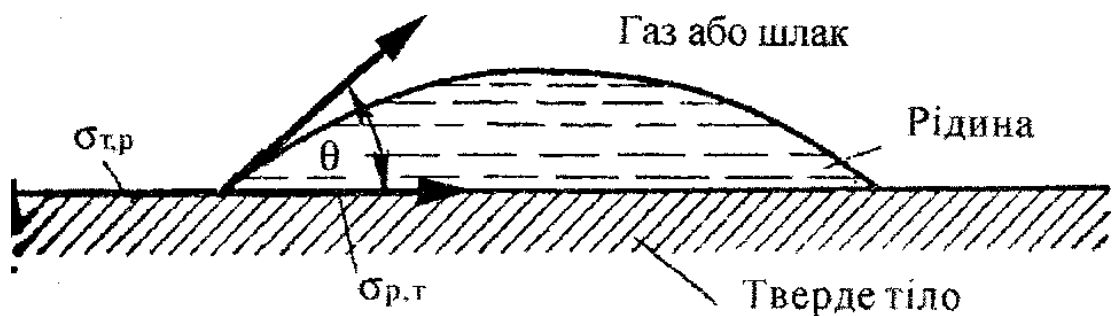


Рисунок 1.1 – Рівновага краплі рідини на поверхні твердого тіла при відсутності між ними реакції та розчинення твердого тіла в рідині

Рівняння (1.1) є записом другого закону капілярності, з якого витікає, що

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{т.г.} + \sigma_{т.р.}}{\sigma_{р.г.}} \quad (1.1.a)$$

Кут  $\theta$  - називається *крайовим кутом змочування*,  $\cos \theta$  – *коефіцієнтом змочування*. Якщо  $\theta < 90^\circ$ , то рідина змочує тверде тіло. Повне змочування настає при  $\theta = 0^\circ$ . При  $\theta > 75^\circ$  процес змочування протікає погано, а при  $\theta > 90^\circ$  змочування відсутнє.

Змочувальна здатність припою визначає його розтікання по поверхні основного металу. Розтікання визначається співвідношенням сил адгезії припою до поверхні твердого тіла і сил когезії в припої. Сили адгезії характеризують зв'язок часток припою і твердого тіла, а когезії - зв'язок між

частками (атомами) припою. Робота адгезії  $A_a$  згідно рівнянню Дюпре<sup>2</sup> визначається вивільненням поверхневої енергії при змочуванні, коли замість двох вільних поверхонь утворюється поверхня розділу твердої і рідкої фаз:

$$A_a = \sigma_{т.г.} + \sigma_{р.г.} - \sigma_{т.р.} \quad (1.2)$$

Визначивши  $\sigma_{р.г.}$  із рівняння (1.1), роботу адгезії можна записати у вигляді

$$A_a = \sigma_{р.г.}(1 + \cos \sigma_{р.г.})$$

або, при повному змочуванні,

$$A_a = 2\sigma_{р.г.}$$

Фізична суть роботи адгезії полягає в тому, що вона представляє роботу, необхідну для розриву поверхні розділу тверде тіло-рідина на одиниці площі з утворенням двох нових поверхонь: тверде тіло-газ і рідина газ одиничної площі.

Робота когезії  $A_k$  визначається витратами енергії на утворення двох нових поверхонь при розриві рідини:

$$A_k = 2\sigma_{р.г.}$$

Розтікання краплі відбувається, якщо робота адгезії дорівнює роботі когезії або більша за нею. Різниця між цими роботами називається **коефіцієнтом розтікання  $k$** , який визначається поверхневим натягом припою і крайовим кутом змочування:

$$k = A_a - A_k = \sigma_{р.г.}(1 + \cos \sigma_{р.г.})$$

На змочування і розтікання припою значно впливають температура, стан поверхні твердого тіла, зовнішня газова або шлакова фаза. Швидкість змочування характеризується інтенсивністю зменшення кута  $\theta$ , тобто  $d\theta/dt$ , а швидкість розтікання визначається швидкістю переміщення периметра змочування від центру надходження рідини, наприклад, зміною радіуса  $r$  основи краплі з часом  $t$ :  $dr/dt$ . Швидкості змочування і розтікання є різними

---

<sup>2</sup>Рівняння запропоновано Дюпре в 1869 р.

характеристиками процесу і не завжди мають однаковий характер змін: наприклад, при постійному значенні кута  $\theta$  можливе розтікання розплаву.

У процесі паяння між припоєм і основним матеріалом можуть утворюватися два види зв'язків - адгезійний і когезійний. Якщо зв'язок приведених в контакт матеріалів (твердого і рідкого) зумовлений тільки поверхневими силами, то він називається **адгезійним**. Зв'язок, утворений за участю дифузійних процесів (масопереносу), називається **когезійним** зв'язком.

При паянні з'єднувані матеріали нагріваються до температури, нижчої від їх температури автономного плавлення. Спаяне з'єднання утворюється шляхом заповнення зазору між з'єднуваними матеріалами рідким припоєм з наступною його кристалізацією.

Змочування припоєм поверхонь з'єднуваних матеріалів є необхідною умовою забезпечення якісного спаяного з'єднання. Тільки при змочуванні основного матеріалу можливі розтікання припою, його затікання в зазор, встановлення фізичного контакту рідкого металу з твердим основним матеріалом, створення умов для протікання між ними дифузійних процесів і утворення з'єднання при кристалізації припою.

Енергія зв'язку, або робота адгезії  $A_a$ , визначається із рівняння Дюпре (1.2). Проте на практиці не завжди можна виміряти питому вільну енергію поверхонь, зокрема міжфазну енергію (поверхневий натяг  $\sigma_{т.р.}$ ). Тому взаємодія припоїв з різними матеріалами досліджується експериментально. Перш за все визначають характеристики змочування і розтікання припоїв.

Змочування рідким припоєм поверхні твердого матеріалу характеризується крайовим кутом змочування  $\theta$ , який достатньо точно визначається експериментально. Чим менше крайовий кут змочування, тим краще змочування поверхні твердого тіла. Зі зменшенням крайового кута змочування  $\theta$  збільшується теоретична міцність зв'язку (робота адгезії  $A_a$ ) в системі припій-основний матеріал. При крайовому куті змочування  $\theta = 0^\circ$  досягається повне змочування поверхні твердого тіла.



Розтікання характеризується **питомою площею розтікання**, тобто площею, яку займає припій після розтікання, віднесеною до одиниці його маси, наприклад  $\text{мм}^2/\text{мг}$  або  $\text{см}^2/\text{г}$ .

$$S' = \frac{S}{m} \quad (1.3)$$

Для визначення крайового кута змочування застосовують метод краплі припою, що наноситься на поверхню твердого матеріалу при певній температурі. Вимірявши після охолодження зразка площу розтікання припою, визначають питому площу розтікання. Виготовляються макрошліфи та вимірюється величина крайових кутів змочування.

Описані дослідження дають рівноважні характеристики змочування і розтікання. При цьому нагрівання твердого матеріалу (підкладки) ведеться разом з припоєм, що знаходиться та розташовується на підкладці. Для дослідження динамічних характеристик  $d\theta/dt$  та  $dr/dt$  нагрівання підкладки і припою до температури дослідів проводиться окремо, потім вони приводяться в контакт, а швидкісне фотографування зразка розпочинається до моменту встановлення контакту. Це пов'язано з високою швидкістю процесів змочування і розтікання в більшості систем твердий метал – рідкий припій, де вони відбуваються за долі секунди. Тривалість цих процесів у системах композиційний матеріал - припій зазвичай вимірюється десятками секунд, а в системах кераміка (графіт) - припій - хвилинами. Наприклад, на рис. 1.2 показано змочування і розтікання у вакуумі розплаву Ni- 12%(мас.) Si на поверхні нікелевого сплаву ЭП99, а на рис. 1.3 – змочування тим же розплавом і припоєм ПНЦ13 дисперсно-зміцненого оксидами композиційного матеріалу на основі нікелю.

З кінограми на рис.1.2,б видно, що крапля припою підводиться до пластини сплаву знизу (лівий верхній кадр); поступово повністю переходить на пластину (правий нижній кадр).

У лабораторній роботі дослідження змочування і розтікання проводяться для рівноважного стану.

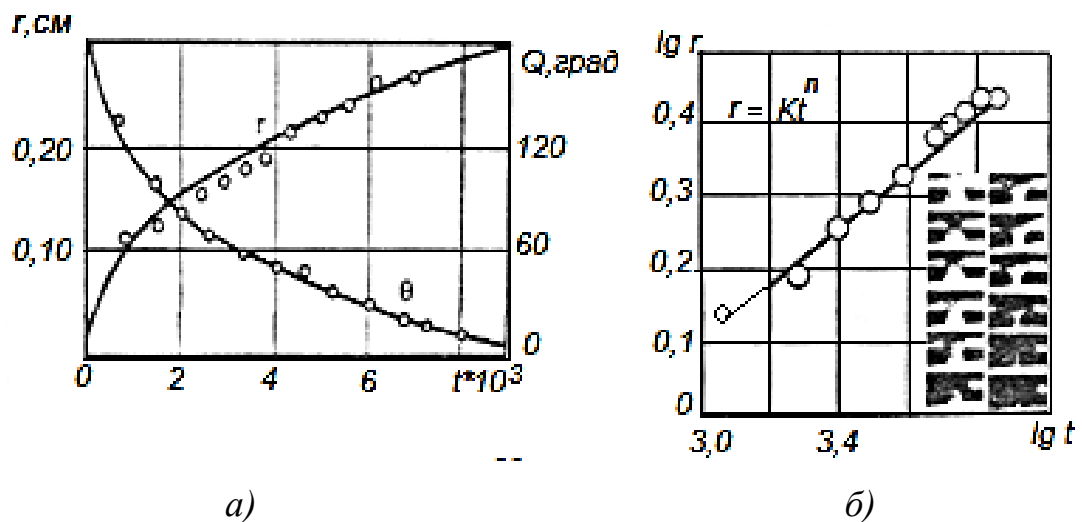


Рисунок 1.2 – Зміна в часі крайового кута змочування  $\theta$  і радіуса  $r$  краплі розплаву Ni - 12% Si на поверхні сплаву ЭП99 в декартовій системі координат (а) та в білогарифмічній системі координат з кінограмою процесу (б) при температурі 1200 °С

Розтікання визначається за питомою площею розтікання. Використовують наважку припою певною масою, яку розміщують на поверхні матеріалу підкладки.

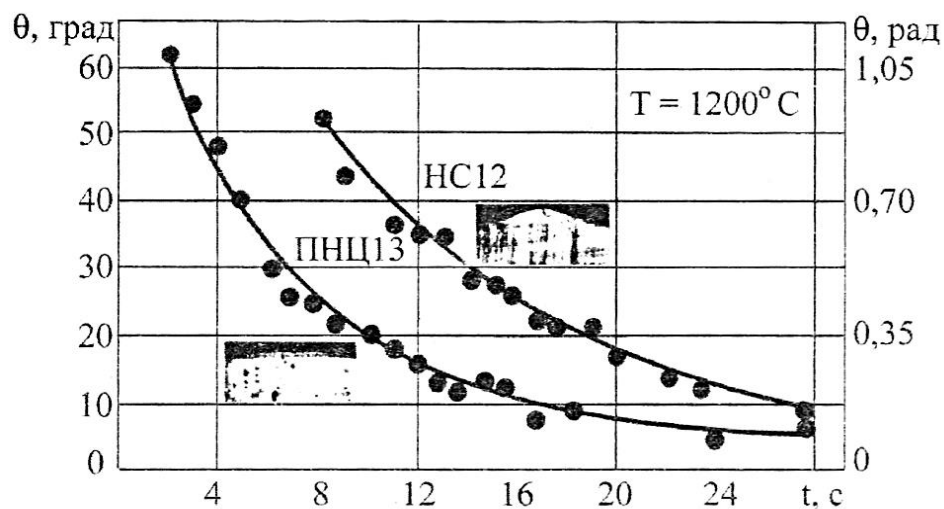


Рисунок 1.3 – Зміна в часі крайового кута змочування розплавом Ni-12% Si та припоєм ПНЦ13 дисперсно-зміцненого оксидами композиційного матеріалу на основі нікелю при 1200 °С

Після нагрівання зразка до температури паяння з забезпеченням певних умов паяння (підготовка поверхні) і охолодження визначають загальну та питому площу розтікання. Наприклад, розтікання припою ВПр11-40Н при температурі 1175 °С показано на рис. 1.4.

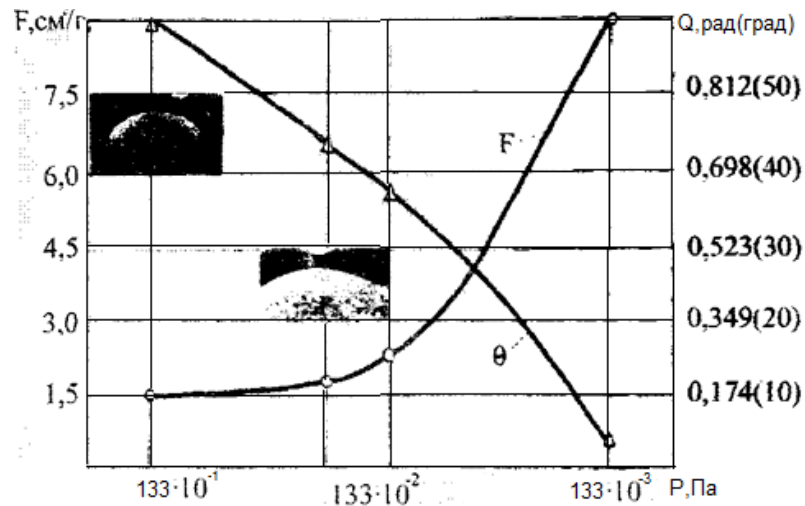


Рисунок 1.4 – Вплив глибини вакууму на крайовий кут змочування та питому площу розтікання припою ВПр11-40Н по поверхні жароміцного нікелевого сплаву ЭП539ЛМ

Слід відзначити, що рівняння (1.1) справедливе лише для випадку, коли припій не розчиняє основний метал (див. рис. 1.1). Зазвичай високотемпературні припої взаємодіють з основним металом і розчиняють його, як показано на рис. 1.5.

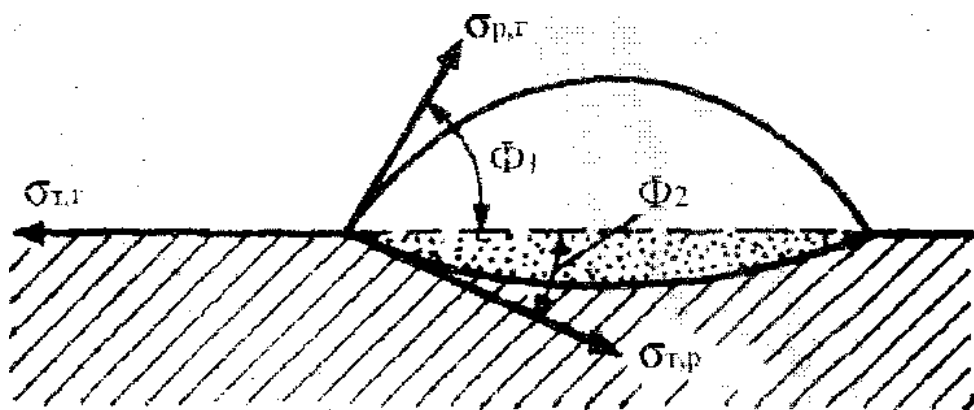


Рисунок 1.5 – Конфігурація поверхні розділу фаз при розчиненні припоєм основного металу

Для випадку розчинення припоєм основного металу умови рівноваги діючих сил складаються з проекцій їх на горизонтальну та вертикальну осі:

$$\sigma_{т.г.} = \sigma_{р.г.} \cos \Phi_1 + \sigma_{т.р.} \cos \Phi_2$$

$$\sigma_{р.г.} \sin \Phi_1 = \sigma_{т.р.} \sin \Phi_2$$

## 1.2 Методика експерименту

Оцінку змочування і розтікання олов'яно-свинцевих припоїв проводять за допомогою камерної або шахтної печі з температурою нагрівання до 400 °С. Для цього наважку припою певної форми і маси розплавляють на поверхні пластинки металу та вимірюють площу розтікання припою після охолодження зразка, а крайовий кут змочування після **приготування** макрошліфа по діаметральному перерізу краплі та його фотографування.

## 1.3 Устаткування і матеріали

1. Для нагрівання зразків використовується електрична муфельна лабораторна піч TermoLab, матеріал робочої камери - кераміка. Робочий простір печі складає: 250x300x200. Максимальна можлива температура досліджень на даній установці сягає 1100 °С. Дослідження можна виконувати також у вакуумній печі ВВУ-КП. Для низькотемпературних припоїв використовують камерну або шахтну піч.

2. Сканер HP Skanjet 4470 с.

3. Зразки з досліджуваних матеріалів (мідь, жароміцний сплав, графіт, сталь, алюміній, титан тощо) у вигляді пластин 40x40 мм товщиною 1,0...2,0мм.

4. Досліджувані низькотемпературні і високотемпературні припої (визначаються викладачем).

5. Інструмент: пінцет, плоскогубці, лінійка, штангенциркуль.

6. Матеріали: абразивний папір, ацетон, серветки, реактиви для підготовки макрошліфів, калька з міліметровою сіткою.

7. Фотографують макрошліфи за допомогою сканування.

#### **1.4 Порядок виконання досліджень при визначенні крайових кутів змочування.**

1. Вивчити методику визначення крайових кутів змочування, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень, вибрати обладнання, зразки, припої, режими.

2. Зазвичай дослідження впливу способів підготовки поверхні зразків на змочування і розтікання припою проводяться при вакуумі  $10^{-1}$  Па у вакуумній печі ВВУ-КПІ для високотемпературних припоїв і в камерній або шахтній печі для низькотемпературних.

3. Підготувати поверхні зразків (1 - зачистити грубозернистим абразивним папером; 2-зачистити дрібнозернистим абразивним папером; 3-полірувати) та знежирити їх і припій спиртом або ацетоном. Підготувати наважки припоїв.

4. Помістити зразок з припоєм в піч, ретельно встановити горизонтально столик з досліджуваним зразком. Для низькотемпературних припоїв використовувати розігріту до заданої температури камерну або шахтну піч.

5. Нагріти зразки до необхідної температури і витримувати протягом певного часу залежно від матеріалу підкладки.

6. Кількість зразків, марки припоїв та конкретні завдання для кожної групи студентів визначає викладач.

7. Вимірювання площі розтікання припою проводиться за допомогою кальки з міліметровою сіткою.

8. Розрізати пластини через центр краплі, виготовити макрошліфи та виміряти величини крайових кутів змочування.

9. Визначити крайові кути змочування після охолодження досліджуваних зразків шляхом виготовлення макрошліфів.

10. Виміряти крайовий кут змочування за допомогою транспортира.

11. За отриманими даними побудувати діаграми залежностей крайового кута змочування і питомої площі розтікання від якості обробки поверхні при заданій температурі.

12. Проаналізувати отримані результати.

Таблиця 1.1 – Результати досліджень

Вид обробки поверхні	Маса припою (m), мг	Площа розтікання припою (S), мм <sup>2</sup>	Крайовий кут змочування Q, °	Питома площа розтікання (S'), мм <sup>2</sup> /мг
Грубозерниста обробка				
Дрібнозерниста обробка				
Полірована поверхня				

Скласти звіт по роботі. У звіті повинні бути відображені:

- назва та мета роботи;
- короткий зміст теоретичного матеріалу;
- результати досліджень впливу стану підготовки поверхонь на розтікання припою по поверхні твердого тіла;
- висновки по роботі

Таблиця 1.2. Температура плавлення і густина деяких припоїв

Припой	Тпл, °С	ρ, кг/м <sup>3</sup>
ПОС 40	235	9300
ПОС 61	190	8500
ПОС 30	256	9700

### **Контрольні питання**

1. Що таке змочування?
2. Що таке крайовий кут змочування і як він визначається?
3. Що таке робота адгезії і робота когезії?
4. Проаналізуйте основні фактори впливу на розтікання припоїв.
5. Від чого залежить швидкість змочування
6. Від чого залежить швидкість розтікання?
7. Що таке питома площа розтікання?
8. Запишіть рівняння другого закону капілярності Юнга та рівняння Дюпре.
9. Як визначається коефіцієнт розтікання?
10. Назвіть основні механізми розтікання припоїв.

## Лабораторна робота № 2

### Дослідження впливу хімічної активації поверхні основного матеріалу на крайовий кут змочування припоєм по поверхні твердого тіла

**Мета роботи:** вивчити вплив флюсів на крайові кути змочування і розтікання припоїв однієї з систем: олово-свинець, мідь-свинець, мідь-алюміній, титан-алюміній, мідь-олово, нікель-кремній або інші - за вибором викладача.

#### 2.1 Короткі теоретичні відомості

**Флюси** - це активні хімічні речовини, призначені для очищення металу, який паяється, від поверхневих оксидів, зменшення поверхневого натягу та поліпшення розтікання рідкого припою.

До флюсу висувають такі вимоги:

- не взаємодіяти хімічно з припоєм: при розплавленні флюсу і припою повинні утворюватися два рідких незмішуваних шари;
- мати температуру плавлення нижче, ніж у припою: рідкий флюс повинен до розплавлення припою очистити поверхню деталей, що з'єднуються від домішок і неметалевої плівки і захистити паяне з'єднання від впливу навколишнього середовища;
- бути хімічно інертними або мінімально активними по відношенню до металів, які паяються і сплавів (корозійна активність залишків флюсу після пайки по відношенню до паяного шву і основного металу повинна бути також мінімальною);
- руйнувати або видаляти поверхневі неметалеві плівки, що утворюються на поверхні деталей, що з'єднуються і припоїв під впливом температури і навколишнього середовища;
- в рідкому стані добре розтікатися по припою, затікати сполучаючись між деталями і змочувати їх;



- в розплавленому і газоподібному станах сприяти розтіканню припою по паяним поверхням і з'єднання його з основним металом;
- бути стійкими при зберіганні та паянні.

До складу флюсів повинні входити компоненти, що володіють властивостями для травлення або сильно поновлюючими властивостями, так як вони, очищаючи поверхню твердого металу від оксидної плівки, підвищують поверхневий натяг твердого металу і тим самим поліпшують змочування його розплавом.

Флюси класифікують за такими ознаками: 1) температурному інтервалу активності; 2) механізмом дії на оксидну плівку; 3) агрегатним станом при постачанні.

По температурному інтервалу активності розрізняють флюси для низько- та високотемпературної пайки. Температурний інтервал активності у флюсів для низькотемпературної пайки знаходиться не вище 450°C, а для високотемпературної пайки - вище 450°C.

За характером впливу на оксиди розрізняють флюси електрохімічного, хімічного, розчинно-хімічного та захисної дії. Флюси захисної дії оберігають паяний метал або припій, очищені перед пайкою, від оксидів, від повторного окислення в процесі зберігання.

До флюсів електрохімічної дії відносяться гігроскопічні хлоридні флюси для паяння та хлоридно-фторидні флюси для високотемпературної пайки алюмінію і його сплавів.

Флюси, що відновлюють метал з оксидів за хімічної реакції, відносяться до флюсу хімічної дії.

До флюсів переважно хімічної дії відносяться органічні флюси для паяння. Однак органічні флюси, активовані хлоридами, також набувають електрохімічну дію.

Неорганічні флюси можуть бути як низькотемпературними, так і високотемпературними. Найважливішими характеристиками флюсів є

температурно-часова область їх активності і часовий інтервал збереження активності при температурі пайки матеріалу конструкції.

Флюси для паяння міді її сплавів і сталей. До флюсів для низькотемпературної пайки з вираженою електрохімічною дією відносяться неорганічні флюси хлоридного типу, що складаються з слабодисоціюючого розчинника і активатора. В якості розчинника для таких флюсів використовують воду, спирти, а в якості активаторів - соляну кислоту і хлориди важких металів.

За природою розчинників флюси можуть бути полярними (вода) і неполярними (одно- і багатоатомні спирти). Активаторами флюсів є неорганічні кислоти (соляна і фосфорна) і деякі органічні кислоти. Ці активатори можна підрозділити на два типи:

1) розчиняються в полярних рідинах (воді); такі активатори можуть іонізувати і призводити до корозії (солі неорганічних кислот, цукру та ін.);

2) розчиняються в неполярних рідинах (жирах, каніфолі, маслах, етиловому спирті) і не викликають корозії; до них відносяться органічні кислоти, наприклад абієтинова кислота, плавиться при 173°C, яка є основним активатором каніфолі. Каніфоль не розчиняється у воді, а розчиняється тільки в неполярних рідинах (наприклад, в етиловому спирті).

#### Каніфоль та флюси на її основі

Каніфольні флюси придатні для пайки срібла, кадмію або деталей, покритих сріблом або кадмієм, а також міді, латуні та фосфористої бронзи, особливо при пайку зануренням в олов'яні припої.

Каніфоль застосовують у вигляді порошку або розчину у спирті, гліцерині, сумішах гасу і бензину. Каніфольний флюс в суміші гасу і бензину може бути такого складу: 40% каніфолі, 50% бензину, 10% гасу.

Недоліком каніфольного флюсу є те, що вони міцно пристають до металу і змиваються тільки спиртом, бензином, скипидаром або лугом.

Для посилення флюсом дії в каніфольні флюси, окрім малоактивних речовин, вводять неорганічні або органічні сполуки - кислоти, галогеніди й

ін. Флюси цієї групи при добавці невеликих кількостей подібних активуючих речовин можуть бути слабо корозійно-активними, а при великих кількостях - корозійно-активними.

Флюси, що містять хлориди цинку і амонію, слід зберігати в скляній, керамічній або дерев'яній тарі, але не в металевій. Ці флюси не повинні містити солей міді, свинцю, заліза, так як при паянні заліза зазначені метали відновлюються з солей і утворюють на поверхні паяної деталі чорний наліт. Очистку флюсів від домішок солей важких металів виробляють гранульованим цинком, який поміщають у флюс на кілька днів. У добре очищеному флюсі нова порція гранульованого цинку не повинна покриватися чорним нальотом.

#### Флюси для високотемпературної пайки міді її сплавів і сталей.

Для успішного виконання найважливішої функції паяльних флюсів - видалення оксидів з поверхні міді і сталей при високотемпературній пайці необхідно їх хімічну взаємодію з оксидною плівкою на поверхні паяного матеріалу і припою. Для цього серед компонентів флюсу повинні бути більш сильні окислювачі, ніж кисень. За окислювальної здатності активніше кисню є хлор і фтор. Тому високоактивні флюси, як правило, містять хлориди і (або) фториди. При цьому склад флюсів повинен забезпечувати їх температуру плавлення нижче температури плавлення припою.

При паянні міді, мідних сплавів і сталей в якості інших компонентів флюсів застосовують боридні з'єднання, наприклад буру  $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , борну кислоту  $\text{H}_3\text{BO}_3$  і борний ангідрид  $\text{B}_2\text{O}_3$ .

Серед високотемпературних розрізняють флюси:

- 1) галогенідні (хлоридно-фторидні з температурними інтервалами активності  $400-625^\circ\text{C}$  і  $600-1000^\circ\text{C}$ );
- 2) з простими і комплексними фторидами (з температурними інтервалами активності  $550-860^\circ\text{C}$  і  $750-1100^\circ\text{C}$ );
- 3) з фосфатів і силікатів з сполуками бору (з температурним інтервалом активності вище  $1000^\circ\text{C}$ );

4) без з'єднань бору з фторидами і хлоридами; час дії флюсів зазвичай менше або дорівнює 5 хв.

За ступенем ефективності дії, флюси можна розділити на три основні групи.

- **Некорозійні (захисні) флюси для паяння** надають тільки захисну дію. Через слабку активність вони нездатні розчиняти оксидну плівку більшості металів і можуть застосовуватися головним чином при паянні міді та її сплавів, а також сталевих виробів, покритих сріблом, міддю, оловом або кадмієм. До таких флюсів відносяться каніфоль та її розчини в спирті або в органічних розчинниках, а також деревні смоли, віск, стеарин, вазелін. Із застосуванням захисних флюсів можна паяти тільки легкоплавкими припоями.

- **Слабокорозійні флюси для паяння** більш активні, ніж некорозійні, і складаються з тваринних жирів, мінеральних олій, органічних кислот (молочної, лимонної, олеїнової, стеаринової, бензольної, щавлевої та інших), їх розчинів в воді або спирті або в похідних органічних кислотах і підставах (гідрогалоїди, хлориди та фториди амінів). Для ослаблення корозійної дії до них додають каніфоль або інші компоненти, не викликають корозії. Слабокорозійні флюси легко випаровуються, згорають або розкладаються при нагріванні. Пари або рештки цих флюсів можуть викликати корозію спаяного з'єднання, тому для послаблення корозійної дії до флюсів додають каніфоль, вазелін, стеарин, а після паяння рештки видаляють. До цих флюсів належать деякі органічні кислоти та їх похідні, мінеральні масла, гліцерин і тваринні жири.

- **Корозійні флюси для паяння** складаються з неорганічних кислот, хлоридів і фторидів металу. Корозійні флюси найбільш активні їх застосовують переважно для паяння чорних і кольорових металів з стійкою окисною плівкою. Але ці флюси призводять до корозії навколо паяного шва, тому після паяння їх ретельно видаляють. Найбільш поширений флюс цього виду - водний розчин хлористого цинку, до якого додають нашатир,

каніфоль, вазелін тощо. Ці флюси ефективні при паянні більшості металів будь-яким методом.

Залежно від температури пайки флюси поділяють на підгрупи:

- для пайки легкоплавкими припоями
- для пайки тугоплавкими припоями.

Якість пайки і можливість отримання паяного з'єднання багато в чому залежать від вибору флюсу. При цьому необхідно враховувати метал, який паяється, склад припою, спосіб нагріву, температуру і швидкість пайки. Органічні флюси при дії на них відкритого полум'я швидко розкладаються і втрачають свою активність, тому ці флюси не слід застосовувати при паянні газополуменевим пальниками. Пастоподібні флюси зручні при паянні в печах із захисною атмосферою. Якщо пайку проводять швидко, то необхідний дуже активний флюс; при тривалому паянні флюс може бути менш активний, але досить стійкий проти розкладання.

Для успішного виконання процесу паяння припої повинні змочувати основний метал, розтікатися по його поверхні та заповнювати зазори (щілини). Ці процеси можуть супроводжуватися суттєвим розчиненням основного металу у припої і взаємною дифузією.

Дозування флюсу та нанесення його перед паянням. У багатьох випадках дозування флюсу при паянні полегшує процес подальшого видалення залишків флюсу і покращує якість виробу (запобігає потраплянню флюсу на ділянки виробу, які не піддають паянню). При надлишку флюсу його залишки заважають затікання припою в зазор, а при нестачі флюсу погіршується процес флюсування і можуть змінитися властивості флюсу. Флюс при паянні дозують різними способами: введенням його у вигляді водного розчину, в суміші з порошком, зернами або стружкою припою, іноді у вигляді таблетованої суміші з зернами припою, у вигляді трубки припою, заповненої флюсом-порошком. У трубчастих припоях вельми важливе співвідношення мас припою і флюсу.

## **2.2 Методика експерименту**

Оцінку змочування і розтікання олов'яно-свинцевих припоїв проводять за допомогою камерної або шахтної печі з температурою нагрівання до 400 °С. Для цього наважку припою певної форми і маси розплавляють на поверхні пластинки металу та вимірюють площу розтікання припою після охолодження зразка, а крайовий кут змочування після **приготування** макрошліфа по діаметральному перерізу краплі та його фотографування.

## **2.3 Устаткування і матеріали**

1. Для нагрівання зразків використовується електрична муфельна лабораторна піч TermoLab, матеріал робочої камери - кераміки. Робочий простір печі складає: 250х300х200. Максимальна можлива температура досліджень на даній установці досягає 1100 °С. Дослідження можна виконувати також у вакуумній печі ВВУ-КП. Для низькотемпературних припоїв використовують камерну або шахтну піч.

2. Сканер HP Skanjet4470 с.

3. Зразки з досліджуваних матеріалів (мідь, жароміцний сплав, графіт, сталь, алюміній, титан тощо) у вигляді пластин 40х40 мм товщиною 1,0...2,0мм.

4. Досліджувані низькотемпературні і високотемпературні припої (визначаються викладачем).

5. Флюси: каніфольний (40%-й спиртовий розчин), ортофосфорна кислота

6. Інструмент: пінцет, плоскогубці, лінійка, штангенциркуль.

7. Матеріали: абразивний папір, ацетон, серветки, клей, реактиви для підготовки макрошліфів, калька з міліметровою сіткою.

8. Фотографують макрошліфи за допомогою сканування.

## **2.4 Порядок виконання досліджень при визначенні крайових кутів змочування**

1. Вивчити методику визначення крайових кутів змочування, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень, вибрати обладнання, зразки, припої, режими.
2. Зазвичай дослідження впливу способів підготовки поверхні зразків на змочування і розтікання припою проводяться при вакуумі  $10^{-1}$  Па у вакуумній печі ВВУ-КПІ для високотемпературних припоїв і в камерній або шахтній печі для низькотемпературних.
3. Зачистити поверхні зразків дрібнозернистим абразивним папером та знежирити їх і припій спиртом або ацетоном. Підготувати наважки припоїв. Поверхні зразків обробити відповідним флюсом.
4. Помістити зразок з припоєм в піч, ретельно встановити горизонтально столик з досліджуванним зразком. Для низькотемпературних припоїв використовувати розігріту до заданої температури камерну або шахтну піч.
5. Кількість зразків, марки припоїв та конкретні завдання для кожної групи студентів визначає викладач.
6. Вимірювання площі розтікання припою проводиться за допомогою кальки з міліметровою сіткою.
7. Розрізати пластини через центр краплі, виготовити макрошліфи та виміряти величини крайових кутів змочування (за допомогою транспортира).
8. За отриманими даними побудувати графіки залежностей крайового кута змочування від хімічної активації поверхні основного матеріалу  $\Theta = f(T)$ .
9. Отримані результати досліджень представити у вигляді таблиці, побудувати діаграму впливу хімічної активації поверхні основного матеріалу на змочування і розтікання припою.
10. Проаналізувати отримані результати.

Таблиця 2.1 – Результати досліджень

Флюс	Маса припою (m), мг	Площа розтікання припою (S), мм <sup>2</sup>	Крайовий кут змочування Q, °	Питома площа розтікання (S'), мм <sup>2</sup> /мг	T, °C
Без флюсу					400
Ортофосфорна кислота					
Сu-каніфоль					
Ст-каніфоль					

11. Скласти звіт по роботі. У звіті повинні бути відображені:

- назва та мета роботи;
- короткий зміст теоретичного матеріалу;
- результати досліджень впливу хімічної активації поверхні основного матеріалу на крайовий кут змочування припоєм по поверхні твердого тіла;
- висновки по роботі.



### **Контрольні питання**

1. Для чого використовують флюс?
2. Вимоги, які висуваються до флюсу?
3. За якими ознаками класифікують флюси?
4. Який температурний інтервал активності у флюсів для низькотемпературної і високотемпературної пайки?
5. Недоліки каніфольних флюсів?
6. Флюси для високотемпературної пайки.
7. Класифікація флюсу за ступенем ефективності дії.
8. Охарактеризуйте корозійні флюси?
9. Які флюси відносяться до не корозійних?
10. Дайте характеристику слабокорозійним флюсам
11. Способи дозування флюсу при паянні?

## Лабораторна робота № 3

### Дослідження впливу температури паяння на технологічні властивості припоїв

**Мета роботи:** вивчити вплив температури паяння на крайові кути змочування і розтікання припоїв однієї з систем: олово-свинець, мідь-свинець, мідь-алюміній, титан-алюміній, мідь-олово, нікель-кремній або інші - за вибором викладача.

#### 3.1 Короткі теоретичні відомості

За визначенням паяння, температура  $t$  повинна бути нижче температури солідуса паяного металу, але вище температури солідуса або ліквідуса припою.

Температурний режим пайки визначається характеристичними температурами: мінімальною температурою  $t_{min}$ , максимальною температурою  $t_{max}$ , робочою температурою  $t_n$ , при якій відбувається ізотермічна витримка при паянні, а також температурним інтервалом, у якому забезпечується отримання якісного паяного з'єднання  $t_{max} - t_{min}$ . Робоча температура пайки зазвичай знаходиться всередині температурного інтервалу, обмеженого температурами  $t_{max}$  і  $t_{min}$ .

До числа важливих характеристичних температур паяного з'єднання відноситься температура його розпаювання  $t_{рсп}$ . У всіх випадках температура експлуатації паяного виробу  $t_e$  повинна бути нижче температури розпаювання  $t_{рсп}$  з'єднання, а остання нижче температури солідуса паяного металу  $t_{см}$ :  $t_e < t_{рсп} < t_{см}$

Рівність  $t_{рсп} = t_{см}$  може бути досягнуто, як правило, тільки після дифузійної пайки. Якщо паяний метал паяти припоєм, який слабо з ним взаємодіє, то  $t_{рсп} \geq t_{см}$ . Якщо компоненти паяного металу і припою утворюють діаграми стану з безперервним рядом твердих розчинів з температурою солідусу, то  $t_{рсп} > t_{см}$ . При обмежених твердих розчинах або утворенню безперервного ряду твердих розчинів з мінімумом  $t_{рсп} \leq t_{см}$ .

З урахуванням наведених співвідношень і з огляду на те, що  $t_{сп} < t_{см}$  для випадку, коли припій при паянні утворює з паяним металом сплави з температурою солідуса нижче температури солідуса припою, справедлива нерівність:

$$t_e < t_{рсп} \leq t_{сп} \leq t_{см}$$

Якість паяних виробів істотно залежить не тільки від властивостей паяних з'єднань, але і від того, як змінюються властивості паяного (основного) матеріалу під дією нагрівання при паянні і матеріалу деталей зібраного виробу, що не піддаються безпосередньо паянню, але нагріваються в процесі її виконання. Погіршення властивостей конструкційного матеріалу, насамперед механічних та корозійних, під дією нагрівання в процесі паяння пов'язано з його структурними змінами, що відбуваються при цьому: зняттям ефектів наклепу або нагартування і термічної обробки, зростанням зерна та зміни стану сплаву по межах зерен, старінням або відпуском, перепалу.

При нагріванні холоднодеформованого металу до температури  $0,2 t_{пл}$  йде перша стадія зняття наклепу або нагартування - повернення або відпочинок; при цьому вакансії переміщуються до границь зерен з міжвузельними атомами, що призводить до зменшення кількості дислокацій і зниженню мікронапружень в металі і, отже, до зниження міцності і підвищенню пластичності металу.

При нагріванні слабдеформованих заліза, алюмінію та їх сплавів до температури  $\sim 0,3 t_{пл}$  настає друга стадія повернення - полігонізація; при цьому формується стільникова структура, яка є наслідком утворення субзерен з кутовими границями, і пластичність металу ще більш підвищується.

При нагріванні слабо холоднодеформованих металів в інтервалі температур  $0,3 - 0,5 t_{пл}$  в місцях найбільшої концентрації дислокацій (на кордонах старих деформованих зерен) зароджуються і зростають нові рівноважні зерна (первинна рекристалізація). При достатній витримці або при подальшому підвищенні температури текстурована структура металу

замінюється рівновісними зернами рекристалізованої структури. Все це призводить до зниження міцності і до подальшого підвищення пластичності металу.

Величина рекристалізованого зерна залежить від ступеня деформації, температури і часу рекристалізації зерна вихідного розміру. Максимальний розмір зерна характерний для рекристалізації металу, який піддається деформації з критичним ступенем 3-15%. При цьому в металі при рекристалізації утворюється обмежене число зародків рекристалізованих зерен.

Подальше підвищення ступеня деформації приводить до зростання по ступені числа центрів рекристалізованих зерен, а підвищення температури нагріву - за експоненціальним законом. При подальшому підвищенні температури ріст зерен внаслідок посилення дифузійних процесів різко зростає.

Температура рекристалізації сильно деформованих чистих металів, за правилом А. А. Бочвара, становить  $0,3 - 0,4 t_{пл}$ , а у сплавів і сталей вона істотно вище ( $0,4-0,5 t_{пл}$ ). Дані по такій температурі для сплавів можуть бути визначені за їх діаграмами рекристалізації, що представляє залежність температури початку і кінця цього процесу від ступеня деформації при заданій тривалості нагріву, або по тривимірним діаграмам рекристалізації, що представляє залежність середньої площі зерна від ступеня деформації і температури.

У таких металів, як молібден і хром, рекристалізація призводить до зниження їх пластичності при нормальній температурі і границі повзучості при підвищених температурах.

Вже після первинної рекристалізації змінюються також електричний опір, питомий об'єм та інші фізичні властивості металів і сплавів, наближаючись до таких, як при відпаленому стані.

Збірна рекристалізація характеризується подальшим зростанням зерен, що виникають в результаті первинної рекристалізації. При цьому

відбувається аномальне зростання великих зерен, зменшення загальної довжини границь зерен, зниження поверхневої енергії металу, утворення потрібних стиків зерен під кутом  $120^\circ$ . Збірна рекристалізація протікає тим інтенсивніше, чим вище температура нагрівання. Включення дисперсних фаз гальмують первинну і збірну рекристалізацію. При ще більш високій температурі нагрівання металів і сплавів може отримати розвиток вторинна рекристалізація, при якій відбувається аномальне зростання деяких великих зерен і утворення різнозеренної грубої структури металу.

Зміна стану металів і сплавів по границях зерен може бути наслідком перегріву або перепалу. При перегріві в металах і сплавах утворюється крупнокристалічна структура, в результаті чого погіршуються їх механічні, особливо динамічні властивості. До перегріву не схильні спадково дрібнозернисті сталі, що містять 0,03-0,04% Al або 0,1 - 0,4% Ti, але схильні сталі зі спадково крупним зерном. Структурні зміни матеріалу при перегріві можуть бути усунені наступною нормалізацією в сплавах, які не піддаються фазовому наклепу.

Перепал сплавів незалежно від їх вихідного стану настає внаслідок оплавлення або окислення границь зерен при нагріванні їх поблизу температури солідуса, що істотно знижує їх межі міцності, втоми, пластичність і в'язкість.

Перепал в сталях і сплавах протікає в три стадії. На першій стадії відбувається збагачення границь зерен легуючими елементами. На другій стадії по границях зерен виникають порожнечі без ознак окислення металу. На третій стадії відбувається окислення границь зерен. виправити структуру конструкційних матеріалів після перепалу можливо тільки після першої його стадії шляхом подальшої гомогенізації і відпалу. Структурні зміни на другій і третій стадіях перепалу – дефект, який не можливо усунути.

Температурний інтервал пайки  $\Delta t_{\text{п}}$  повинен знаходитися поза інтервалами заборонених температур для металу, який паяється  $\Delta t_{\text{зм}}$  і припою  $\Delta t_{\text{зп}}$ ;  $\Delta t_{\text{п}} >$  чи  $< \Delta t_{\text{зм}}$ ;  $\Delta t_{\text{п}} > \Delta t_{\text{зп}}$ .

До заборонених відносяться і температурні інтервали (при досить тривалому нагріванні або повільному охолодженні), в яких паяний метал зазнає структурні або фазові зміни, неприпустимо погіршують властивості паяного з'єднання або виробу в цілому (механічні, корозійні та ін.)

Крім того, температурний інтервал пайки повинен знаходитися поза температурних інтервалів розвитку дифузійної пористості ( $\Delta t_{\text{пор}}$ ), охрупчення паяного металу в контакт з рідким припоєм ( $\Delta t_{\text{окр}}$ ) і нижче температури початку неприпустимого розвитку хімічної ерозії ( $t_{\text{хе}}$ ), зростання прошарків хімічних сполук ( $t_{\text{хз}}$ ):  $\Delta t_{\text{п}} < \text{чи} > \Delta t_{\text{пор}}$ ;  $\Delta t_{\text{п}} < \text{чи} > \Delta t_{\text{окр}}$ ;  $\Delta t_{\text{п}} < \Delta t_{\text{хз}}$ ;  $\Delta t_{\text{п}} < t_{\text{х.с.}}$ .

Внаслідок того, що розвиток фізико-хімічних процесів взаємодії паяного металу з припоєм, флюсом, газовим середовищем відбувається в часі, температурний інтервал пайки залежить від тривалості контакту конструкційного матеріалу МК і припою МП: при малій тривалості контакту цей інтервал може зміщуватися в область більш високих температур, а при збільшенні часу контакту - в область більш низьких температур. Отже, температурний інтервал пайки певною мірою залежить від часу паяння.

Часовий режим пайки характеризується тривалістю нагрівання до температури пайки, тривалістю пайки, тривалістю охолодження, тривалістю нагрівання вище температури ліквідусу припою. У загальному випадку тривалість витримки при температурі пайки  $t_{\text{п}}$  повинна бути менше тривалості відпалу паяного металу; неприпустимого зростання прошарку хімічних сполук по границі шва; неприпустимого розвитку хімічної ерозії в металі, який паяється; неприпустимого зростання зерна металу, який паяється. Тривалість витримки при температурі дифузійної пайки повинна бути достатньою для протікання дифузійних процесів в металі, який паяється і паяному шві - для розсмоктування крихких інтерметалідних включень, «заліковування» пор, гомогенізації шва.

На якість паяних з'єднання істотно впливає також швидкість нагріву виробу і припою до робочої температури пайки. Занадто повільне нагрівання

металу, який паяється може сприяти неприпустимій зміні його структури і властивостей. Занадто повільне нагрівання припою може призвести до зміни його складу в результаті, наприклад, випаровування, окислення компонентів або розплавлення і витікання з нього легкоплавких складових, а отже, і до зміни температурного інтервалу плавлення припою і властивостей з'єднання. При занадто швидкому нагріванні з'являється небезпека виникнення термічних деформацій в паяних, особливо тонкостінних деталях.

Швидкість охолодження після пайки може суттєво впливати на пластичність і міцність металу паяного шва, особливо при його загартуванні або при утворенні в ньому впорядкованих твердих розчинів і нерівноважному їх розпаді, а також при виникненні внутрішніх напружень розтягу і деформацій тонкостінних елементів в паяному виробі.

До температурно-часових характеристик режиму пайки відносяться: середня швидкість нагріву до робочої температури пайки і середня швидкість охолодження до температури 20°C. У деяких випадках, при необхідності забезпечення певної швидкості нагріву або охолодження на окремих ділянках кривої термічного циклу пайки, може бути зазначена їхня середня швидкість.

Температурний інтервал плавлення припою - найважливіша класифікаційна ознака. Такий інтервал обмежений температурою початку (солідус) і кінця (ліквідус) плавлення припою. По температурі кінця розплавлення припої поділяють на п'ять класів: особливо легкоплавкі ( $T_{пл} < 145^{\circ}C$ ); легкоплавкі ( $145^{\circ}C < T_{пл} < 450^{\circ}C$ ); середньоплавкі ( $450^{\circ}C < T_{пл} < 1100^{\circ}C$ ); високоплавкі ( $1100^{\circ}C < T_{пл} < 1850^{\circ}C$ ); тугоплавкі ( $T_{пл} > 1850^{\circ}C$ ).

### **3.2 Методика експерименту**

Оцінку змочування і розтікання олов'яно-свинцевих припоїв проводять за допомогою камерної або шахтної печі з температурою нагрівання до 400 °C. Для цього наважку припою певної форми і маси розплавляють на поверхні пластинки металу та вимірюють площу розтікання припою після

охолодження зразка, а крайовий кут змочування після **приготування** макрошліфа по діаметральному перерізу краплі та його фотографування.

Змінюючи умови досліджень (температуру) обирають найбільш сприятливі умови паяння.

Основний матеріал і припої вибирає викладач.

### **3.3 Устаткування і матеріали**

1. Для нагрівання зразків використовується електрична муфельна лабораторна піч TermoLab, матеріал робочої камери - кераміка. Робочий простір печі складає: 250x300x200. Максимальна можлива температура досліджень на даній установці досягає 1100°C. Дослідження можна виконувати також у вакуумній печі ВВУКП. Для низькотемпературних припоїв використовують камерну або шахтну піч.

3. Сканер HP Skanjet4470 с.

4. Зразки з досліджуваних матеріалів (мідь, жароміцний сплав, графіт, сталь, алюміній, титан тощо) у вигляді пластин 40x40 мм товщиною 1,0...2,0мм.

5. Досліджувані низькотемпературні і високотемпературні припої (визначаються викладачем).

6. Флюси: каніфольний (40%-й спиртовий розчин), ортофосфорна кислота.

7. Інструмент: пінцет, плоскогубці, лінійка, штангенциркуль.

8. Матеріали: абразивний папір, ацетон, серветки, реактиви для підготовки макрошліфів, калька з міліметровою сіткою.

9. Фотографують макрошліфи за допомогою сканування.

### **3.4 Порядок виконання досліджень при визначенні крайових кутів змочування**

1. Вивчити методику визначення крайових кутів змочування, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень, вибрати обладнання, зразки,



Зачистити поверхні зразків дрібнозернистим абразивним папером та знежирити їх і припій спиртом або ацетоном. Підготувати наважки припоїв. При дослідженні низькотемпературних припоїв поверхні зразків обробити відповідним флюсом.

2. Обрати, за рекомендацією викладача, припої, режими.
3. Помістити зразок з припоєм в піч, ретельно встановити горизонтально столик з досліджуванним зразком. Для низькотемпературних припоїв використовувати розігріту до заданої температури камерну або шахтну піч.
4. Нагріти зразки до необхідної температури і витримувати протягом певного часу залежно від матеріалу підкладки.
5. Виміряти крайовий кут змочування за допомогою транспортира.
6. За отриманими даними побудувати графіки залежностей крайового кута змочування від температури  $\theta = f(T)$ .
7. Визначити крайові кути змочування після охолодження досліджуваних зразків шляхом виготовлення макрошліфів.

### **3.5 Порядок виконання роботи при вивченні впливу різних факторів на процеси змочування і розтікання припоїв**

1. Зазвичай дослідження впливу способів підготовки поверхні зразків на змочування і розтікання припою проводяться при вакуумі  $10^{-1}$  Па у вакуумній печі ВВУ-КПІ для високотемпературних припоїв і в камерній або шахтній печі для низькотемпературних. Для цього:
  2. Підготувати поверхню пластини.
  3. Встановити зразки в робочу камеру і провести дослід за вибраним режимом.
  4. Кількість зразків, марки припоїв та конкретні завдання для кожної групи студентів визначає викладач.
  5. Вимірювання площі розтікання припою проводиться за допомогою кальки з міліметровою сіткою.

6. Розрізати пластини через центр краплі, виготовити макрошліфи та виміряти величини крайових кутів змочування.

7. Отримані результати досліджень представити у вигляді таблиці, побудувати графіки і діаграми впливу різних факторів на змочування і розтікання припою.

8. Проаналізувати отримані результати.

9. Скласти звіт по роботі. У звіті повинні бути відображені:

- назва та мета роботи;
- короткий зміст теоретичного матеріалу;
- результати досліджень впливу температури паяння на технологічні властивості припоїв;
- висновки по роботі.

Таблиця 3.1. Результати досліджень

t паяння, °C	Маса припою (m), мг	Площа розтікання припою (S), мм <sup>2</sup>	Крайовий кут змочування Q, °	Питома площа розтікання (S'), мм <sup>2</sup> /мг	Флюс
350					без флюсу
					ортофосфор на к-та
					каніфоль
400					без флюсу
					ортофосфор на к-та
					каніфоль
420					без флюсу
					ортофосфор на к-та
					каніфоль

## Контрольні питання

1. Якими характеристичними температурами визначається температурний режим пайки?
2. Що відбувається при нагріванні холоднодеформованого металу до температури  $0,2 t_{пл}$ ?
3. Що відбувається при нагріванні слабдеформованного заліза, алюмінію та їх сплавів до температури  $\sim 0,3 t_{пл}$ ?
4. Від чого залежить величина рекристалізованого зерна?
5. По за якими температурними інтервалами повинен знаходитись температурний інтервал пайки?
6. Чим характеризується часовий режим пайки?
7. Чи впливає швидкість нагріву виробу і припою на якість паяних з'єднань?
8. Що відбувається при занадто повільному нагріванні металу і припою?
9. Що відбувається при занадто швидкому нагріванні до робочої температури пайки?
10. Що відноситься до температурно-часових характеристик режиму пайки?
11. Чим обмежений температурний інтервал плавлення припою?
12. По температурі кінця розплавлення припої поділяються на....?

## Лабораторна робота № 4

### Дослідження впливу величини зазору при паянні на висоту підняття і затікання припою в зазор

**Мета роботи:** вивчити методики визначення висоти підняття і затікання в зазор припою та основні фактори, що впливають на цей процес.

#### 4.1 Короткі теоретичні відомості

Однією з основних умов утворення високоякісних спаяних з'єднань є заповнення припоєм паяльних зазорів. Особливо важливо знати висоту підняття припою при капілярному паянні, коли заповнення зазорів забезпечується лише капілярними силами.

Капілярна течія припоїв розглядається статичною і динамічною теоріями рідини. Статична теорія розглядає форму рідини на поверхні твердого тіла в умовах найменшої вільної енергії системи і дозволяє оцінити сили, які призводять до розтікання рідини. Розтікання зумовлене різницею між тиском  $p_1$  зі сторони увігнутої поверхні рідини і тиском  $p_2$  з опуклої сторони поверхні. Різниця  $\Delta p = p_1 - p_2$  визначається першим рівнянням капілярності (*формула Лапласа*):

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \sigma_{\text{пр}} \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (4.1)$$

де  $R_1$  і  $R_2$  – радіуси кривизни поверхні у взаємно перпендикулярних площинах.

Якщо в рідину опустити капіляр або близько розташовані пластини з капілярним зазором (рис. 4.1), то під дією різниці тиску  $\Delta p$  рідина в капілярі або зазорі піднімається до рівня, який урівноважує  $\Delta p$ , тобто

$$\Delta p = h \rho g,$$

де  $h$  - висота підняття рідини в зазорі;  $\rho$  - густина рідини;  $g$  - прискорення сили тяжіння.

Для капіляра

$$R_1 = R_2 = R = \frac{d}{2 \cos \theta},$$

де  $d$  – діаметр капіляра

Для зазору

$$R_1 = \frac{a}{2\cos\theta}; R_2 = \infty,$$

де  $a$  – величина зазору.

Після підстановки відповідних значень у рівняння (4.1) отримаємо висоту підняття рідини в капілярі:

$$h = \frac{4\sigma_{p,\Gamma} \cdot \cos\theta}{d \cdot \rho \cdot g}, \quad (4.2)$$

в капілярному зазорі:

$$h = \frac{2\sigma_{p,\Gamma} \cdot \cos\theta}{a \cdot \rho \cdot g} \quad (4.3)$$

Затікання припою в зазор залежить від його величини, рівномірності і положення в просторі, шорсткості поверхонь тощо. В горизонтальному зазорі затікання більше, ніж у вертикальному. Затікання припою в зазор зазвичай визначають експериментально на зразках зі змінним зазором.

Динамічна теорія розглядає швидкість руху рідини в зазорі шириною  $a$  і довжиною  $l$ . Середня швидкість без урахування взаємодії рідини з основним металом визначається рівнянням

$$v = \frac{a\sigma_{p,\Gamma} \cdot \cos\theta}{6 \cdot \eta \cdot l}$$

де  $\eta$  – в'язкість рідини.

Реальна швидкість значно відрізняється від розрахункової, оскільки припій взаємодіє з основним металом та змінює свій склад і властивості.

Пряме використання формул (4.2) - (4.4) для визначення оптимальної величини зазору ускладнюється залежністю крайового кута змочування від температурно-часових умов взаємодії припою і флюсу з основним металом, флюсу з припоєм, стану поверхні паяння матеріалів. В процесі паяння основний метал може розчинятися в припої, що призводить до зміни його температури плавлення, величини поверхневого натягу, в'язкості припою тощо. Крім того, формули не дозволяють визначити час підняття припою, а вказують лише на максимальну висоту можливого підняття.

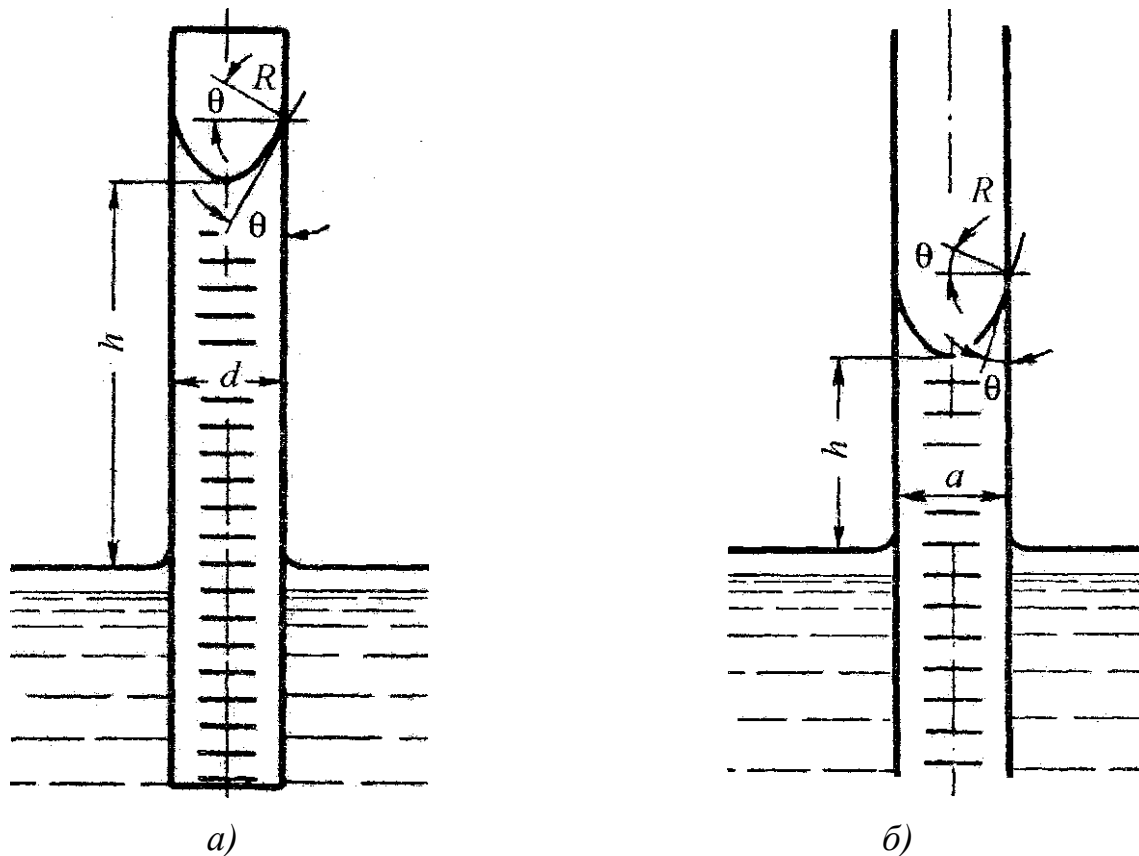


Рисунок 4.1 – Схема підняття рідини в капілярі (а) та між паралельними пластинами з капілярним зазором (б)

Рівняння рівноваги краплі, яка лежить на шорсткій поверхні, відрізняється від рівняння (1.1а) рівноваги краплі на ідеальній поверхні значенням коефіцієнта шорсткості  $n$ :

$$\cos \theta = \frac{n(\sigma_{т.г.} + \sigma_{т.р.})}{\sigma_{р.г.}}$$

де  $n \geq 1$ .

Теоретично врахувати вплив перелічених факторів на висоту підняття припою важко. Тому на практиці користуються технологічними пробами, які встановлюють взаємозв'язок між висотою підняття припою і величиною зазору для даних конкретних умов: температури паяння, стану поверхні, складу припою, флюсу, тривалості паяння тощо.

Для встановлення цих залежностей використовують зразки, наведені на рис. 4.2 та 4.3. На рис. 4.2,а показано зразок, який складається із двох пластин, зв'язаних між собою. Для створення змінного зазору з однієї

сторони пластини складаються щільно, а з другої сторони між пластинами встановлюється проставка або дротик діаметром 4 мм. Такий зразок, попередньо оброблений флюсом, встановлюється вертикально у ванночку з припоєм і потім поміщається в піч, нагріту до заданої температури. Припій розплавляється і піднімається між пластинами, а після певної витримки зразок виймають із ванночки і пластинки роз'єднують одну від одної.

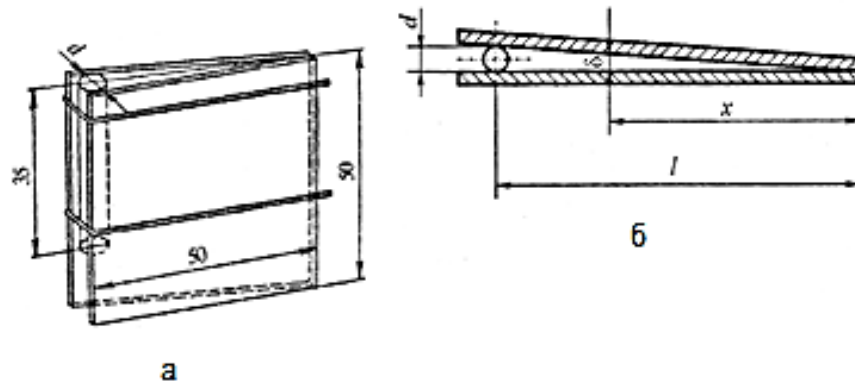


Рисунок 4.2 – Загальний вигляд клиноподібної проби (а) та її горизонтальний переріз (б)

На поверхні пластин чітко видно висоту їх змочування припоєм, яку вимірюють від рівня припою в ванні (видно на стороні пластин, де був зазор 4,0 мм). Знаючи діаметр  $d$  дротика, можна визначити величину  $\delta_{\text{зазору}}$  в будь-якій точці (рис. 4.2,б) до довжини зразка ( $\delta = xd/l$ ) та побудувати графік залежності висоти підняття припою від величини зазору.

Іноді використовують зразок типу трубка в трубці (рис. 4.3,а) або стрижень в трубці (втулка-стрижень). Таку пробу використовують для високотемпературних припоїв, коли роз'єднати пластинки важко. При цьому величини зазорів визначають по горизонтальному перетину (рис. 4.3,б) за рівнянням

$$\delta = R + a \cos \varphi - \sqrt{r^2 - a^2 \sin^2 \varphi}, \quad (4.5)$$

де  $R$  - внутрішній радіус втулки;  $r$  - радіус стрижня,  $a = R - r$  - ексцентриситет;  $\varphi$  - полярний кут, відрахований проти годинникової стрілки від лінії дотику втулки і стрижня (точка  $m$ ) до радіальної лінії, на якій визначається величина зазору  $\delta$  (див. рис. 4.3,б).

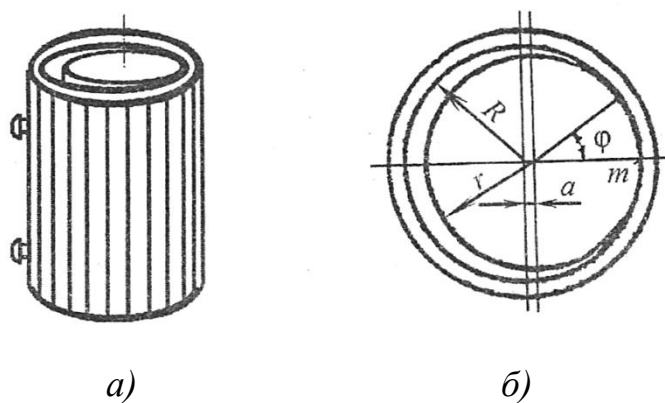


Рисунок 4.3 – Загальний вигляд проби стрижень в трубці (а) та її вид зверху (б)

Висоту підняття припою можна визначити після видавлювання стрижня з втулки за допомогою преса або шляхом послідовного зрізування проби по висоті та дослідження макрошліфів. Оскільки до формули (4.5) входить значення полярного кута  $\varphi$ , то вимір висоти підняття припою зручно проводити через рівні інтервали зміни кута  $\varphi$ . Для цього на зовнішню поверхню втулки (трубки) перед дослідженням наносять позначки, які відповідають зміні полярного кута на певну величину ( $30^\circ \dots 15^\circ$ ).

## 4.2 Устаткування і матеріали

1. Для дослідження легкоплавких припоїв використовується шахтна або камерна піч, яка забезпечує температуру до  $400^\circ\text{C}$ . Для нагрівання зразків використовується електрична муфельна лабораторна піч TermoLab, матеріал робочої камери - кераміка. Робочий простір печі складає:  $250 \times 300 \times 200$ . Максимальна можлива температура досліджень на даній установці досягає  $1100^\circ\text{C}$ .

2. Зразки з міді, латуні або інших матеріалів розміром  $50 \times 40$  мм і товщиною до 2,0 мм.

3. Для паяння в печі використовують олов'яно-свинцеві припої з флюсом, для паяння у вакуумі-припої ВПр11-40Н, НС12, ПОС 40, ПОС 61, ПОС 30 або інші (пропонуються викладачем).



4. Інструменти: пінцет, плоскогубці, лінійка, штангенциркуль, ванночки для розміщення припоїв та проб.

5. Матеріали: ацетон, серветки, абразивний папір, 50%-й водний розчин хлористого цинку  $ZnCl_2$ , спиртовий розчин каніфолі.

### **4.3 Порядок виконання роботи**

1. Вивчити методики визначення залежності висоти підняття припоїв від величини зазору, отримати конкретне завдання, розробити план досліджень, вибрати обладнання, зразки, припої, режими.

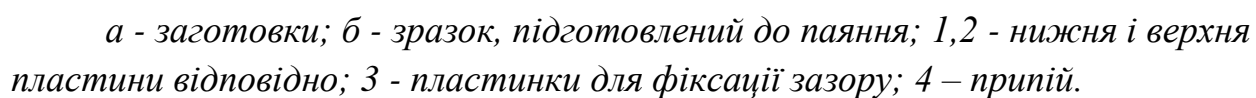
2. Скласти три клиноподібні проби (див. рис. 4.2) із міді або латуні з попередньо обробленими поверхнями: перша - дрібнозернистим абразивним папером, друга і третя - крупнозернистим папером з рисками, розташованими вертикально і горизонтально відповідно. Перед складанням внутрішні поверхні пластин обробити флюсом - 50%-м водним розчином  $2HCl_2$ .

Для створення необхідного кута між пластинами використовувати дротик діаметром 4,0 мм.

3. Почергово поміщати заготовлені проби у ванночки з розплавленим олов'яно-свинцевим припоєм та витримувати в печі протягом 5 хв при 350 °С.

4. Зруйнувати проби, перенести форму змоченої поверхні припоєм на кальку, провести необхідні виміри і розрахунки.

5. Дослідити затікання припою в горизонтальний зазор. Для цього пластини складаються з певними зазорами, які фіксуються відповідними дротиковими вставками, а припій розміщується біля зазору (див.рис. 4.4).



6. За даними досліджень побудувати графік залежності висоти підняття припою від величини зазору  $h = f(\delta)$ .

8. Скласти звіт по роботі. У звіті повинні бути відображені:

- назва та мета роботи;
- короткий зміст теоретичного матеріалу:
- результати досліджень впливу величини зазору при паянні на висоту підняття і затікання припою в зазор ;
- висновки по роботі.

[illegible]

## Контрольні питання

1. Які сили діють на припій у капілярному зазорі?
2. Які фактори впливають на затікання припою в зазор?
3. Які зазори рекомендуються для капілярного паяння?
4. При якому розташуванні зазору у просторі спостерігається його краще заповнення припоєм?
5. Як впливає шорсткість поверхні на висоту підняття припою в зазорі?
6. Як впливають різні фактори на заповнення паяльного зазору припоєм?
7. Які вимоги ставляться до підготовки поверхонь до паяння?
8. Які вимоги необхідно виконувати під час складання заготовок для забезпечення заповнення капілярного зазору припоєм?
9. Як впливає режим паяння на заповнення паяльного зазору припоєм?

## Лабораторна робота № 5

### Обладнання для паяння в вакуумі

**Мета роботи:** вивчити застосовні джерела нагрівання матеріалів при паянні, принципіальну будову пристроїв та обладнання і особливості застосування паяння у вакуумі.

#### 5.1 Загальні відомості

Розрізняють пайку в високому та середньому вакуумі або паяння в комбінованій атмосфері низького вакууму (форвакуума) і парів металів, що легко випаровуються, які володіють більшою хімічною спорідненістю до кисню, ніж компоненти паяного сплаву і припою.

У вакуумі  $p = 1,33 \cdot 10^{-2}$  Па, особливо при температурі  $1000^\circ\text{C}$ , більшість металів помітно випаровується. У разі випаровування у вакуумі елементів із сплавів вважають справедливим закон Рауля, який застосовують до розбавлених розчинів, з якого випливає, що тиск пари елемента з розчину нижче тиску пари чистого елемента на величину, пропорційну концентрації розчиненої речовини.

Відзначається легка випаровуваність цинку, кадмію, літію, марганцю, срібла, алюмінію, хрому, магнію, фосфору - компонентів багатьох припоїв для високотемпературної пайки. При вакуумному паянні такими припоями для запобігання випаровування подібних компонентів використовують напуск в вакуумований простір інертних газів, що дозволяє вести процес пайки при температурі вище  $1000^\circ\text{C}$  без небезпечної зміни складу припою. З цією метою можливий також напуск в вакуумну камеру активних газів або парів металів, що легко випаровуються, які покращують процес паяння в вакуумі.

Паяння металів в вакуумі з нагріванням в печах може бути виконано по одній з наступних схем.

1. Пайка в печі (наприклад, з молібденовим нагрівачем), у вакуумованому просторі, який утворюється всередині камери нагрівання (фіксований нагрівач). Переваги печей з фіксованим нагрівачем - можливість

забезпечення високого і стійкого вакууму із залишковим тиском  $1,33 \cdot 10^{-2}$  -  $1,33 \cdot 10^{-4}$  Па. Недоліки таких печей - надзвичайно повільне охолодження паяного виробу (протягом від одної до декількох годин) через низьку теплопровідності вакуумного простору робочої камери печі.

2. Пайка в вакуумі при незалежній дії вакуумної камери (контейнера або внутрішньої частини виробу) і нагрівача. Цей спосіб дозволяє швидко охолоджувати вироби після паяння шляхом видалення їх (чи контейнера) з печі.

Можливості паяння в вакуумі і інертних газах можуть бути розширені при використанні так званих самофлюсуючих припоїв, легованих літієм, бором, фосфором, лантаном і іншими рідкоземельними елементами.

При паянні в вакуумі сплавів на нікелевій і мідній основах, а також високолегованих сталей утворюються більш щільні і міцні шви, ніж при паянні в середовищі водню.

Пари металів, що легко випаровуються у вакуумі, можуть істотно впливати на процеси пайки: вони можуть відновлювати оксиди на металі, який паяється (сплаві), зв'язувати залишки кисню і вологи в атмосфері, яка оточує паяний виріб, запобігати або зменшувати випаровування однойменного металу з рідкого припою, насичувати рідкий припій, брати участь в контактному плавленні матеріалів.

До таких металів відносяться магній, вісмут, кадмій, цинк, літій, які вводяться в робочий простір вакуумної печі при паянні алюмінію; марганець, цинк, літій - при паянні сталей міддю; магній - при контактнотвердогазовому паянні алюмінію силуміном. Пари вісмуту, магнію, літію, цинку, кадмію здатні зв'язувати залишки кисню, а пари літію, магнію, цинку - також і воду.

Рівномірний розподіл парів металів, що забезпечує високу якість пайки і зниження витрат парів металу, можливо лише при відкачуванні газів з камери нагріву до температури вирівнювання тиску насичених парів металу з тиском газів у вакуумній камері печі. Це виключає різницю тисків і

перетікання парів металу. При досягненні рівності між тиском парів металу і загального тиску в камері пайки остання відключається від вакуумного насоса. В результаті виникають умови рівномірного розподілу в камері парів металу. Застосування такого прийому забезпечує стабільність процесу і високу якість пайки і економію витрати парів металу.

При паянні у вакуумі сплавів на нікелевій і мідній основах, а також високолегованих сталей утворюються більш щільні і міцні шви, ніж при паянні в середовищі водню.

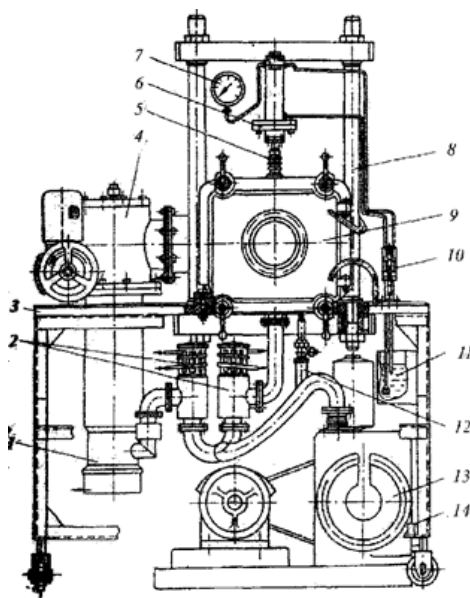
Пайка в вакуумі має ряд переваг. Вона забезпечує утворення більш щільних і міцних швів, ніж пайка в інертних і активних газових середовищах, в результаті дегазації рідкого припою, виключає утворення в конструкційно складних виробах з корозійностійких сталей «повітряних мішків». При паянні сталей у вакуумі виключено утворення на їх поверхні гідридів і нітридів і знеуглецювання. Крім того, вважають, що експлуатаційні витрати на створення вакууму (наприклад, при електронно-променевому паянні) в 35 разів нижче, ніж при використанні інертних газів або активних газових середовищ.

## **5.2 Паяння в установках для дифузійного зварювання і паяння у вакуумі**

Установки для дифузійного зварювання у вакуумі, сконструйовані під керівництвом проф. М.Ф. Казакова, як правило, мають індукційне нагрівання струмами високої частоти і можуть успішно застосовуватися для паяння. Це стосується також інших установок з радіаційним або електронно-променевим нагріванням (УДСВ-ДТ, ВВУ-КП і ВВУ-1Д, схему установки показано на рис. 5.1.).

Установка має форвакуумний насос 13 типу ВН-1МГ, дифузійний насос 1 типу Н5-СМ1, електромагнітний кран 12 для напуску повітря в камеру 9 і два вакуумних електромагнітних крани 2, один із яких з'єднує форвакуумний насос безпосередньо з робочою камерою, а другий - з

дифузійним насосом. На текстолітовій плиті 3, розміщеній на каркасі 14, знаходяться робоча вакуумна камера 9, ручний гідравлічний насос 10 і вузол гідравліки, що складається з двох колон 8, з'єднаних верхньою і нижньою траверсами. До верхньої траверси кріпиться трипоршневий гідравлічний циліндр 6, що забезпечує стискування деталей і підйом штоків. Тиск масла в гідросистемі вимірюють манометром 7. Зусилля стискування від поршнів гідроциліндра передається на деталі через три штоки, розташовані в одній площині і введені у вакуумну камеру через сільфонні ущільнення 5. Три штоки дозволяють рівномірно розподіляти зусилля по великій площі зварювання або паяння. Максимальне зусилля стискання деталей складає 50 кН. Воно створюється за допомогою ручного гідравлічного преса 6 з максимальним тиском масла 15 МПа.



*1 – дифузійний насос; 2, 12 - вакуумні електромагнітні крани; 3 - плита каркасу; 4 - вакуумний затвор; 5 - сільфонний ввід штока; 6 - гідроциліндр; 7 - манометр; 8 - колона гідровузла; 9 - вакуумна камера; 10 - гідравлічний насос; 11-резервуар для масла гідросистеми; 13 - форвакуумний насос; 14 - каркас установки*

Рисунок 5.1 – Схема вакуумної установки УДСВ-ДТ для дифузійного зварювання

Зварюються і паяються деталі у вакуумній камері 9. Корпус робочої вакуумної камери об'ємом 54 л виготовлено з нержавіючої сталі. Вона має сорочку для водяного охолодження. Відкидна передня стінка з оглядовим вікном зі спеціального скла діаметром 160 мм щільно притискається до корпусу камери через гумове ущільнення спеціальними пристроями.

Вакуумна камера з'єднана з дифузійним насосом 1 через вакуумний затвор 4 типу ДУ-160. Попередній вакуум у робочій камері створюється форвакуумним насосом 13, а високий вакуум - дифузійним паромасляним насосом 1. Вакуум  $1,3 \cdot 10^{-2}$  Па створюється в робочій камері за 5 хв.

Робота на установці ведеться в такій послідовності. Перед зварюванням чи паянням деталі зачищають і знежирюють. Підготовлені до з'єднання деталі встановлюють у камеру 9. Відкачування повітря із камери до тиску 13,3 Па ведеться форвакуумним насосом 13, а потім до  $5 \cdot 10^{-3}$  Па дифузійним 1. Після досягнення необхідного вакууму деталі нагрівають до температури процесу паяння. В установці передбачене індукційне нагрівання деталей струмами високої частоти. Температура розігрітих деталей контролюється термopарами.

Після закінчення зварювання закривають вакуумний затвор 4 і відкривають кран 12 напуску повітря в камеру. При цьому форвакуумний насос відкачує повітря з дифузійного насоса. У робочій камері ведеться вивантаження-завантаження деталей.

Установки для дифузійного зварювання у вакуумі, як правило, мають індукційне нагрівання струмами високої частоти і радіаційне нагрівання.

Індукційне нагрівання струмами високої частоти засноване на використанні двох фізичних явищ - ефекту близькості і поверхневого ефекту.

Ефект близькості - це явище, при якому в поперечному перерізі двох провідників щільність струму, який протікає в протилежних напрямках, нерівномірна - більше значення на ділянках зближення провідників. При пропусканні по провіднику змінного струму щільність його в периферійних ділянках буде тим більше, чим вище частота струму, що протікає. Це явище



називається електричним поверхневим ефектом. Глибина проникнення струму в сталь залежить від частоти струму і температури нагріву.

Радіаційний нагрів зварювальних деталей може здійснюватися за рахунок випромінювання від нагрівача, поміщеного зовні або всередині корпусу вакуумної камери. Граничне значення температури нагрівання деталей визначається термостійкістю корпусу вакуумної камери.

Принципові схеми нагріву зразків і деталей у вакуумі за рахунок радіації і теплопровідності показані на рис. 5.2. Радіаційний нагрів деталі 1, укріпленої на держаку 2, що знаходиться у вакуумній камері 3 (рис. 5.2, а і б), відбувається за рахунок випромінювання від нагрівача 4, розташованого зовні (рис. 5.2, а) або всередині (рис. 5.2, б) вакуумної камери. При виготовленні камери, наприклад з плавленого кварцу або іншого матеріалу, максимальна температура нагріву обмежена температурою розм'якшення матеріалу, утворення пористості, що приводить до порушення герметичності і виходу вакуумної камери з ладу. Як показала практика, наприклад, при зварюванні нагрівачів з дісилицида молібдену при товщині стінок кварцової труби 2,5 мм і діаметрі 25 мм швидкість підвищення температури складає 40-50 град/хв. При зварюванні нагрівачів при температурі 1200°C витрачається приблизно 20 - 30 хв.

Збільшення або зменшення швидкості нагріву може змінюватися за рахунок напруги, що підводиться до нагрівача. Практично, як правило, нагрівач 4 розміщується безпосередньо у вакуумній камері (рис. 5.2,б), деталі можуть нагріватися до температури 2500-3000°C. Для отримання настільки високих температур нагрівачі виготовляються з вольфраму або графіту. При нагріванні до більш низьких температур 1360-2360°C застосовуються молібден і титан, а при нагріванні до 1000°C успішно застосовуються нагрівачі зі сплаву типу ніхром. При використанні зазначених вище нагрівачів слід враховувати, що матеріал нагрівача у вакуумі випаровується і осідає на поверхні деталей, що в ряді випадків неприпустимо.

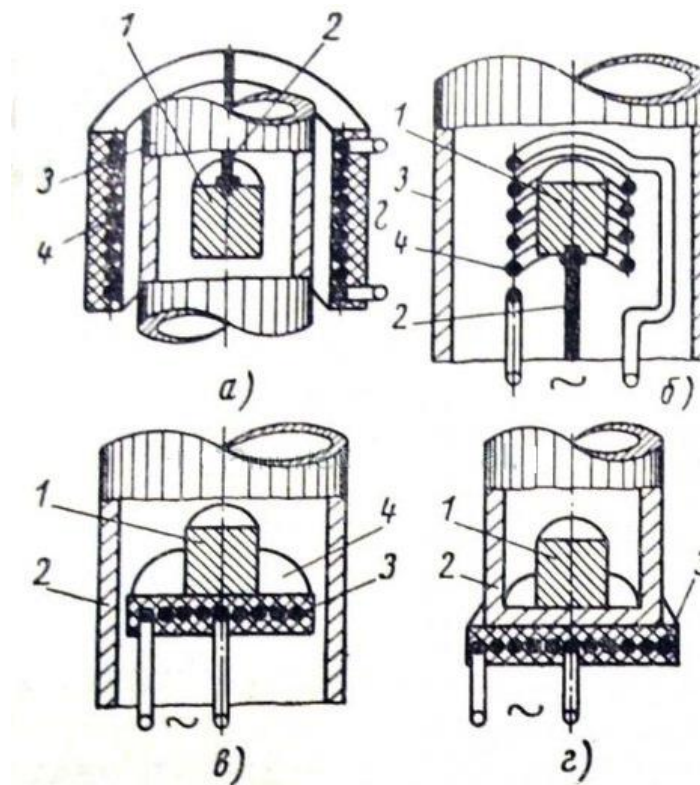


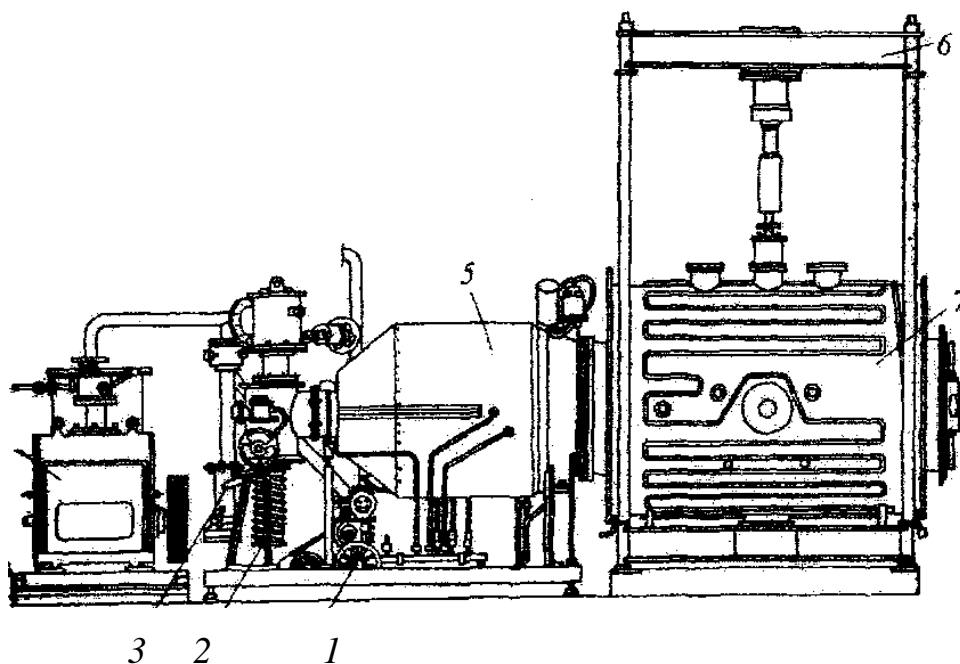
Рисунок 5.2 – Схеми нагріву деталей у вакуумі за рахунок радіації і теплопровідності

За схемою, наведеною на рис. 5.2, в, зразок 1 нагрівається у вакуумній камері 2 від нагрівача 3. Щоб уникнути приварювання або оплавлення деталі внаслідок безпосереднього контакту нагрівача з деталлю застосовують термоізоляцію 4 нагрівача шляхом нанесення, наприклад, тонкого шару окису алюмінію.

На рис. 5.2, г представлена схема, що ілюструє розташування зварюваної деталі 1 у вакуумній камері 2 при нагріванні електричною піччю 3, розташованої зовні камери. При такому способі нагріву переважає передача тепла за рахунок теплопровідності, але значний вплив робить також і радіація з поверхні нагрітого корпусу.

Особливістю радіаційного способу нагрівання, в якому деталі нагріваються зовнішніми джерелами тепла, є можливість нагріву деталей, виконаних з будь-яких матеріалів – які добре проводять струм (металів і сплавів), так і напівпровідників і діелектриків.

Установки типу УДСВ-ДТ забезпечують вакуум до  $1,3 \cdot 10^{-2} \dots 6,6 \cdot 10^{-3}$  Па, який створюється дифузійними насосами. Для зварювання і паяння високоактивних металів і сплавів побудовані високовакуумні установки (рис. 5.3).



1 - форвакуумний насос НВЗ-20; 2 - вакуумний агрегат АВП-2; 3- бустерний насос БН-3; 4 - форвакуумний насос ВН-6ГМ; 5 - электродуговой вакуумный насос АВЭД-40/80; 6 - вузол гідравліки; 7 - вакуумна камера

Рисунок 5.3 – Схема високовакуумної установки ВБУ-1Д

Універсальна установка ВБУ-1Д призначена для дифузійного зварювання і паяння складних за конфігурацією та громіздких вузлів із тугоплавких і активних металів, жароміцних сплавів, композиційних і керамічних матеріалів, нанесення покриттів і припоїв методами іонно-плазмового та термічного напilenня. Об'єм робочої камери дорівнює  $3,53 \text{ м}^3$ , максимальна температура деталей -  $1600 \dots 1800^\circ\text{C}$ . В установці передбачено радіаційне нагрівання та нагрівання струмами високої частоти. Потужність нагрівального обладнання - 120 кВА.

Вакуумна камера оснащена допоміжними механічними маніпуляторами та механізованими пристроями, які забезпечують виконання

технологічного циклу виготовлення партії деталей без розгерметизації камери.

В установці ВВУ-1Д вакуум  $1,3 \cdot 10^{-5}$  Па створюється за допомогою насосів НВЗ-20 і ВН-6ГМ, бустерного насоса БН-3, вакуумного агрегату АВП-2 та електродугового вакуумного насоса АВЭД-40/80. Форвакуумний насос ВН-6ГМ відкачує з камери повітря до 13,3 Па і потім вимикається. Подальша відкачка ведеться насосами НВЗ-3, БН - 3, АВП-2 і АВЭД-40/80.

Вакуумні дифузійні паромасляні насоси НВДМ призначені для створення і підтримки вакууму в вакуумних технологічних системах шляхом відкачування з герметичних об'ємів повітря, газів, парів і парогазових сумішей, які не містять краплинної вологи і механічних забруднень і неагресивних до матеріалів конструкції насоса НВДМ.

Насоси НВДМ повинні працювати тільки з форвакуумним насосом у вибухобезпечних приміщеннях в стаціонарних умовах.

Принцип дії насоса НВДМ заснований на захопленні і перенесенні газу, що відкачується, струменем пару, який витікає з щілинних зазорів ежекторного сопла в бік вихідного фланця. Далі газ через вихідний патрубок відкачується форвакуумним насосом. Загальний вигляд насосів представлений на рис. 5.4, а характеристики в табл. 5.1 і 5.2.

Насоси виготовляються для експлуатації при температурі навколишнього повітря від 10°C до 45°C і температурі охолоджуючої води від 10°C до 20°C.

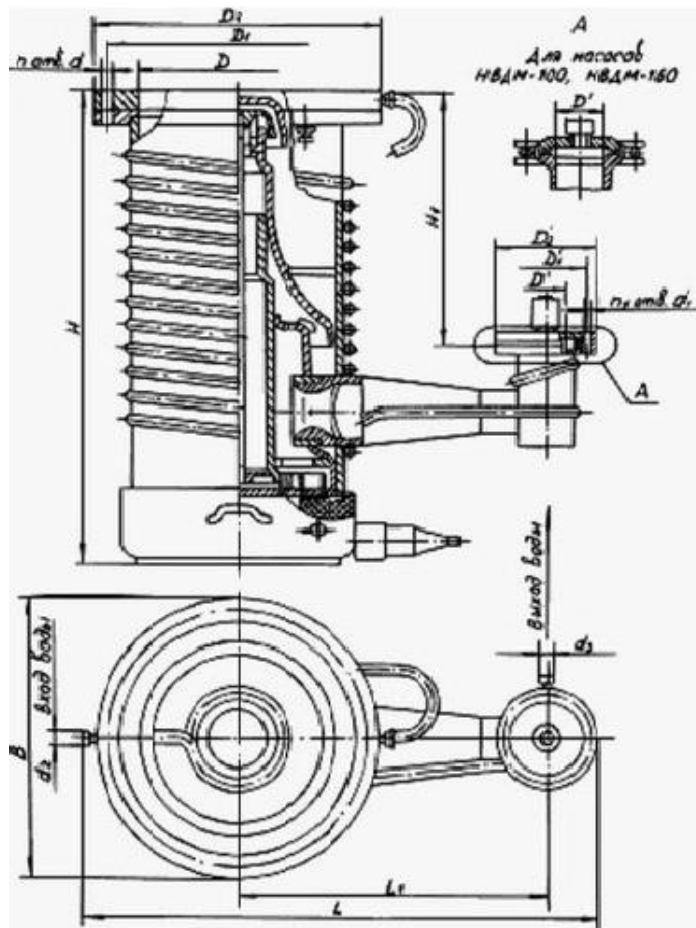


Рисунок 5.4 – Загальний вигляд дифузійних насосів

Таблица 5.1 – Габаритні та приєднувальні розміри насосів НВДМ

Умовне позначен ня	D	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D'	D' <sub>1</sub>	D' <sub>2</sub>	L	L <sub>1</sub>	B	H	H <sub>1</sub>	d	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d	n	n <sub>1</sub>
НВДМ-100	100	145	170	25	-	-	250	130	170	300	120	12	-	10	10	4	-
НВДМ-160	160	210	235	40	-	-	410	215	235	340	107	12	-	12	10,5	8	-
НВДМ-250	250	300	330	63	110	130	625,5	360	330	530	317	14	9	0,3	10,3	8	4
НВДМ-400	400	455	490	63	110	130	860	505	490	731	398	18	9	14	14	8	4
НВДМ-630	630	695	725	100	145	165	1344	754	905	1195	704	18	9	20	20	12	8

Таблиця 5.2 – Технічні характеристики насосів НВДМ

Показник	НВДМ-100	НВДМ-160	НВДМ-250	НВДМ-400	НВДМ-630
Швидкість дії в діапазоні робочих тисків, л/с:					
від $6,6 \times 10^{-4}$ до $1,3 \times 10^{-1}$ Па	340	700	350	-	-
від $6,6 \times 10^{-4}$ до $6,6 \times 10^{-2}$ Па	-	-	-	5900	16250
Граничне залишковий тиск при температурі навколишнього середовища:					
від 10 до 25°C, Па (мм рт.ст.)	$6,6 \times 10^{-5}$ ( $5 \times 10^{-7}$ )	$6,6 \times 10^{-5}$ ( $5 \times 10^{-7}$ )	$6,6 \times 10^{-5}$ ( $5 \times 10^{-7}$ )	$6,6 \times 10^{-5}$ ( $5 \times 10^{-7}$ )	$6,6 \times 10^{-5}$ ( $5 \times 10^{-7}$ )
вище 25 до 45°C, Па (мм рт.ст.)	$6,6 \times 10^{-4}$ ( $5 \times 10^{-6}$ )	$6,6 \times 10^{-4}$ ( $5 \times 10^{-6}$ )	$6,6 \times 10^{-4}$ ( $5 \times 10^{-6}$ )	$6,6 \times 10^{-4}$ ( $5 \times 10^{-6}$ )	$6,6 \times 10^{-4}$ ( $5 \times 10^{-6}$ )
Найбільше випускне тиск, Па (мм рт.ст.), не менше	35(0,263)	33,3(0,25)	33,3(0,25)	33,3(0,25)	33,3(0,25)
Обсяг заливає робочої рідини, л	0,07	0,3	0,55	1,4	5
Витрата охолоджуючої води, л/год	35	60	100	200	600
Зворотний потік парів робочої рідини, мг/мін.см <sup>2</sup>	$8 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$	$8 \times 10^{-4}$
Споживана потужність при номінальній напрузі, кВт:					
220В	0,5	0,8	-	-	-
380В	-	-	2	4	9
Маса ,кг. не більше (без заглушок і деталей їх кріплення)	6,5	16	31,5	80	280

Універсальна установка ВВУ-КП, рис. 5.5, призначена для дифузійного зварювання, паяння с тиском та іонно- плазмового напилення виробів із тугоплавких і активних металів, жароміцних сплавів, композиційних і керамічних матеріалів. Вона має 6 вакуумних ввідів, ввід штоку механізму прикладення тиску та можливість встановлення плазмотрону іонно-плазмового напилення.

Вакуум порядку  $5 \cdot 10^{-4}$  Па створюється за допомогою насосів НВЗ-20 і ВН-6ГМ, вакуумного паромасляного насосу НВДМ-250. Форвакуумний насос ВН-6ГМ відкачує з камери повітря до 13,3 Па і потім вимикається. Подальша відкачка ведеться насосами НВЗ-20 та НВДМ-250.



Рисунок 5.5 – Зовнішній вигляд установки ВВУ-КП

### **5.3 Устаткування і матеріали**

1. Для проведення досліджень використовується вакуумна установка ВВУ-КП.
2. Вакуумний паромасляний насос НВДМ-250.
3. Форвакуумний насос ВН-6ГМ.
4. Вакууметр ВІТ-2.

### **5.4 Порядок виконання роботи**

1. Ознайомитися з конструкцією установки ВВУ-КП та побудувати загальну принципову схему вакуумної системи установки.
2. Ознайомитися з конструкцією та принципом дії приладу прикладення тиску до деталей, що паяються.
3. Ознайомитися з конструкцією та принципом дії вакуумного паромасляного насосу НВДМ-250.
4. Ознайомитися з конструкцією та принципом дії форвакуумного насосу ВН-6ГМ.
5. Ознайомитися з конструкцією та принципом дії вакууметру ВІТ-2 та термодатним і іонізаційним датчиками вимірювання глибини вакууму.

6. Скласти звіт по роботі. У звіті повинні бути відображені:

- назва та мета роботи;
- короткий зміст теоретичного матеріалу;
- загальна принципова схема вакуумної системи установки;
- висновки по роботі.

### **Контрольні запитання**

1. Як розрізняють пайку по глибині вакууму?
2. Які компоненти припоїв легко випаровуються при високотемпературному паянні?
3. Які схеми паяння металів в вакуумі ви знаєте, охарактеризуйте ці схеми.
4. Яким чином досягається рівномірний розподіл парів металів, що забезпечує високу якість пайки і зниження витрат парів металу.
5. Які способи нагрівання застосовують при паянні в вакуумі?
6. В чому полягає ефект близькості і поверхневий ефект при індукційному способі нагрівання деталей?
7. Як відбувається радіаційний нагрів деталей, що паяються?
8. Для чого призначені вакуумні дифузійні паромасляні насоси типу НВДМ.
9. Опишіть принцип дії дифузійних паромасляних насосів.
10. Для реалізації яких технологій призначена універсальна установка ВВУ-КП.
11. За яким принципом працюють термопарний і іонізаційний датчики вимірювання глибини вакууму.



## Список літератури

1. Паяння металів. Дослідження фізико-хімічних процесів та технологічних факторів при паянні / [В.В. Квасницький, В.Ф. Квасницький, Б.В. Бугаєнко, Г.В. Єрмолаєв; під редакцією В.Ф. Квасницького]. – Миколаїв: НУК, 2006. – 160 с.
2. Хряпин В.Е. Справочник паяльщика. / В.Е. Хряпин – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1981. 348 с., ил. – (Серия справочников для рабочих).
3. Лашко Н.Ф. Пайка металлов. / Н.Ф. Лашко, С.В. Лашко. – М.: Машиностроение, 1977. – 328 с., ил.